

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 11-330552

(43)Date of publication of application : 30.11.1999

(51)Int.Cl.

H01L 33/00

H01S 3/18

(21)Application number : 10-134823

(71)Applicant : NICHIA CHEM IND LTD

(22)Date of filing : 18.05.1998

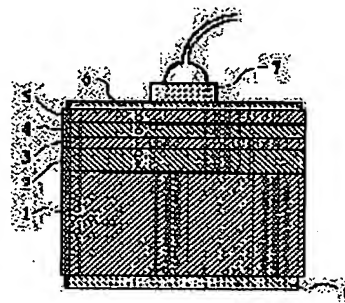
(72)Inventor : NAGAHAMA SHINICHI
NAKAMURA SHUJI

(54) NITRIDE SEMICONDUCTOR LIGHT-EMITTING ELEMENT AND LIGHT-EMITTING DEVICE

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To raise the output of a long-wavelength light-emitting element by a method wherein the number of the well layers of the second light-emitting element, which is larger in an In content than the In content of the first light-emitting element of a light-emitting device, of the device is increased more than the number of the well layers of the first light-emitting element provided with an active layer.

SOLUTION: A buffer layer 2 consisting of a GaN layer is grown on a substrate 1 and thereafter, an active layer 3 consisting of a multiple quantum well structure (The number of well layers is 3.) formed by stacking a barrier layer + (a well layer + an intermediate layer + a barrier layer) \times 3 is grown on the layer 2. In this case, when the barrier layers consisting of a GaN layer, an InGaN layer (The compositional ratio of In is lower than the compositional ratio of In in the well layers.) and the like are grown on the intermediate layers of a high decomposition temperature in a thick film, the crystallizability of the well layers is modified. Accordingly, by growing the active layer consisting of the multiple quantum well structure formed by stacking repeatedly the well layers + the intermediate layers + the barrier layers, a long-wavelength element is obtained so that the output of the element improves.



BEST AVAILABLE COPY

LEGAL STATUS

[Date of request for examination] 28.02.2001

[Date of sending the examiner's decision of rejection] 26.08.2003

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration] withdrawal

[Date of final disposal for application] 27.11.2003

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision] 2003-18701

of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection] 25.09.2003

[Date of extinction of right]

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公 開 特 許 公 報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平11-330552

(43)公開日 平成11年(1999)11月30日

(51)Int.Cl.⁶

識別記号

F I

H 0 1 L 33/00

H 0 1 L 33/00

C

H 0 1 S 3/18

H 0 1 S 3/18

審査請求 未請求 請求項の数4 O L (全 5 頁)

(21)出願番号

特願平10-134823

(22)出願日

平成10年(1998)5月18日

(71)出願人 000226057

日亜化学工業株式会社

徳島県阿南市上中町岡491番地100

(72)発明者 長濱 慎一

徳島県阿南市上中町岡491番地100 日亜化学工業株式会社内

(72)発明者 中村 修二

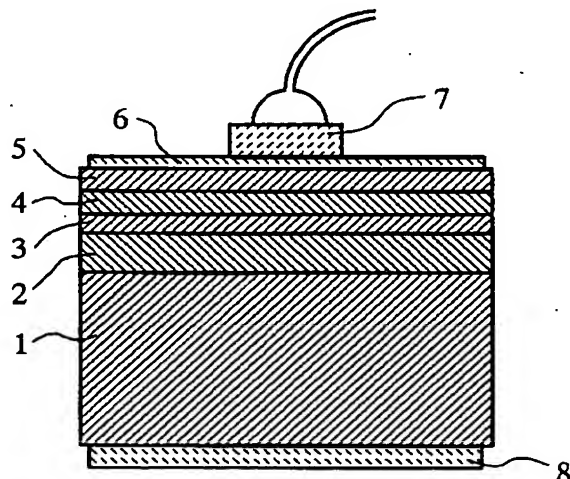
徳島県阿南市上中町岡491番地100 日亜化学工業株式会社内

(54)【発明の名称】 窒化物半導体発光素子及び発光装置

(57)【要約】

【目的】 長波長の窒化物半導体発光素子の出力を向上させると共に、窒化物半導体発光素子を用いた高出力な発光装置を実現する。

【構成】 Inを含む窒化物半導体からなる井戸層を有する活性層を具備する第1の発光素子と、第1の発光素子よりもIn含有量が多い窒化物半導体からなる井戸層を有する第2の発光素子とを有する窒化物半導体発光装置において、第2の発光素子の井戸層数が、前記第1の発光素子の井戸層数よりも多い。井戸層の数を増やすことによって障壁層の数が増え、その障壁層で井戸層の結晶性を良くすることにより、Inの多い井戸層が成長できる。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 In を含む窒化物半導体からなる井戸層を有する活性層を具備する第1の発光素子と、第1の発光素子よりも In 含有量が多い窒化物半導体からなる井戸層を有する第2の発光素子とを比較して、前記第2の発光素子の井戸層数が、前記第1の発光素子の井戸層数よりも多いことを特徴とする窒化物半導体発光素子。

【請求項2】 In を含む窒化物半導体からなる井戸層を有する活性層を具備する第1の発光素子と、第1の発光素子よりも In 含有量が多い窒化物半導体からなる井戸層を有する第2の発光素子とを有する窒化物半導体発光装置において、

前記第2の発光素子の井戸層数が、前記第1の発光素子の井戸層数よりも多いことを特徴とする窒化物半導体発光装置。

【請求項3】 少なくとも前記第2の発光素子は、井戸層と障壁層とが積層された多重量子井戸構造を有し、その井戸層と障壁層との間に、膜厚30オングストローム以下の、少なくとも Al を含む窒化物半導体若しくは GaIn からなる中間層を有することを特徴とする請求項1または2に記載の窒化物半導体発光素子及び発光装置。

【請求項4】 前記中間層のバンドギャップエネルギーは障壁層と同じか、若しくは障壁層よりも大きいことを特徴とする請求項3に記載の窒化物半導体発光素子及び発光装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】 本発明は窒化物半導体 ($\text{In}_x\text{Al}_{1-x}\text{Ga}_{1-y}\text{N}$, $0 \leq x$, $0 \leq y$, $x+y \leq 1$) よりなる発光ダイオード (LED)、レーザダイオード (LD)、スーパーリミネセントダイオード (SLD) 等の発光素子及びその発光素子を用いたフルカラーディスプレイ、信号灯のような発光装置に関する。

【0002】

【従来の技術】 窒化物半導体は青色LEDとして1993年末より実用化され、続いて緑色LEDとして94年中旬に実用化され、 GaAs 、 AlInGaP 系赤色LEDと共に、フルカラーディスプレイとして、既に各所に設置されている。現在の青色LED、緑色LEDは InGaIn 井戸層1層の単一量子井戸構造、又は InGaIn 井戸層と、 GaIn 若しくは InGaIn 障壁層とが積層された多重量子井戸構造からなる活性層が、 n 型と p 型の窒化物半導体で挟まれたダブルヘテロ構造を有する。LEDの発光波長は井戸層の In 組成を増減することによって決定されている。

【0003】 窒化物半導体のようなワイドギャップ半導体では、その活性層の組成の一つである In 組成を変化させることにより、その発光領域が紫外～赤色にまで変化することが知られている。異なる In 組成を有する活性層を複数層形成して単一の発光素子で多色発光させる

技術が、例えば特開平7-183576号公報に開示されている。また、青色LED、緑色LED、赤色LED3種類のLED素子を用いたディスプレイ装置が既に各所で設置されている。このディスプレイ装置の青色成分と緑色成分は窒化物半導体から成る。

【0004】 また、LEDの他、我々は窒化物半導体基板の上に、活性層を含む窒化物半導体レーザ素子を作製して、世界で初めて室温での連続発振1万時間以上を達成したことを発表した (ICNS' 97 予稿集, October 27-31, 1997, P444-446、及びJpn. J. Appl. Phys. Vol. 36(1997) pp. L1568-1571, Part2, No. 12A, 1 December 1997)。

【0005】

【発明が解決しようとする課題】 このようにLEDでは既に窒化物半導体により、青色と緑色とが実用化されており、例えば20mAにおける青色LEDの出力は約5mW、緑色LEDでは約3mWである。さらに窒化物半導体の場合、黄緑色、黄色、橙色と順に長波長になるに従って、出力が低下する傾向にある。これは井戸層の In 組成を多くするに伴い井戸層の結晶性が悪くなるためである。

【0006】 例えば信号灯では黄色、若しくは黄橙が必要となるが、黄色を窒化物半導体で実現しようとする、他の緑色LED、赤色LEDの出力に比較して、やや出力が不十分である。またフルカラーディスプレイでは緑色LEDの出力が向上すればさらに低消費電力が実現できる。本発明のこのような事情を鑑みて成されたものであり、その目的とするところは、長波長の窒化物半導体発光素子の出力を向上させると共に、窒化物半導体発光素子を用いた高出力な発光装置を実現することにある。

【0007】

【課題を解決するための手段】 本発明の窒化物半導体発光素子は、 In を含む窒化物半導体からなる井戸層を有する活性層を具備する第1の発光素子と、第1の発光素子よりも In 含有量が多い窒化物半導体からなる井戸層を有する第2の発光素子とを比較して、前記第2の発光素子の井戸層数が、前記第1の発光素子の井戸層数よりも多いことを特徴とする。井戸層は $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ ($0 < x < 1$) で構成することが望ましく、その膜厚は100オングストローム以下、さらに好ましくは70オングストローム以下最も好ましくは50オングストローム以下にすると量子効果により、高出力な発光素子が得られる。またその他、3元混晶の InAlN 、4元混晶の InAlGaIn で構成することもできる。

【0008】 また本発明の窒化物半導体発光装置は、 In を含む窒化物半導体からなる井戸層を有する活性層を具備する第1の発光素子と、第1の発光素子よりも In 含有量が多い窒化物半導体からなる井戸層を有する第2の発光素子とを有する窒化物半導体発光装置において、前記第2の発光素子の井戸層数が、前記第1の発光素子

の井戸層数よりも多いことを特徴とする。

【0009】本発明の窒化物半導体素子及び装置において、前記第1の発光素子の井戸層数が1乃至4であり、前記第2の発光素子の井戸層数が2以上であることが望ましい。具体的には470nm以下の青色発光素子であれば、井戸層数が1乃至2層、470nm～580nmであれば2乃至4層、580nm以上であれば4層以上にすることが望ましい。

【0010】さらに、少なくとも第2の発光素子は、井戸層と障壁層とが積層された多重量子井戸構造を有し、その井戸層と障壁層との間に、膜厚300Å以下の、少なくともAlを含む窒化物半導体若しくはGaNからなる中間層を有することを特徴とする。障壁層は井戸層よりも膜厚が厚いか、若しくはバンドギャップエネルギーが大きい窒化物半導体で形成し、好ましくは $\text{In}_Y\text{Ga}_{1-Y}\text{N}$ ($0 \leq Y < 1$, $Y < X$) とする。障壁層の好ましい膜厚としては200Å以下、さらに好ましくは100Å以下、最も好ましくは70Å以下にする。また障壁層を井戸層よりもバンドギャップエネルギーが大きい3元混晶の InAlN 、4元混晶の InAlGa_xN とすることもできる。なお第1の発光素子も多重量子井戸構造でも良い。

【0011】さらに本発明の好ましい態様において、前記中間層のバンドギャップエネルギーは障壁層と同じか、若しくは障壁層よりも大きいことを特徴とする。

【0012】本発明ではInを含む窒化物半導体より成る井戸層を有する活性層において、長波長にする、即ち井戸層のIn組成を多くするに従って、井戸層数を多くする。これは、井戸層の結晶性に関係する。例えばInGaNではIn組成が多くなるに従って結晶性が悪くなり、発光素子の出力が低下する傾向にある。しかし、井戸層の上に井戸層よりもバンドギャップエネルギーが大きい障壁層を積層すると、その障壁層により井戸層の結晶性が改善される。つまり、障壁層は井戸層よりもIn量が少ないために結晶性がよく、その障壁層を積むことにより活性層全体の結晶性が良くなる。従ってIn組成の大きい井戸層では、井戸層を多くして、同時に障壁層を多くすることにより、井戸層の少ないものに比較して発光出力が向上する。また井戸層のIn組成を増加すると歪みが大きくなりピエゾ効果でも光らなくなる。このため井戸層を増やし、各井戸層に係る歪みを減少させて、ピエゾ効果を緩和することにより、さらに光らせるという作用もある。

【0013】さらに、好ましい態様として、井戸層と障壁層との間に、障壁層とバンドギャップエネルギーが同じか、若しくはそれよりも大きい中間層を挿入することにより、障壁層の結晶性が良くなり、発光出力が向上するのである。

【0014】

【実施例】【実施例1】図1は本実施例に係るLED素子の構造を示す模式的な断面図である。以下、この図を基に実施例1について説明する。

【0015】1インチ角のSiドープGaNよりなる窒化物半導体基板1を用意する。この窒化物半導体基板1は、以下のようにして成長させたものである。

【0016】(窒化物半導体基板1) 2インチφ、C面を主面とするサファイアよりなる異種基板1をMOVPE反応容器内にセットし、温度を500℃にして、トリメチルガリウム(TMG)、アンモニア(NH_3)を用い、GaNよりなるバッファ層を200Å以下の膜厚で成長させる。バッファ層成長後、温度を1050℃にして、同じくGaNよりなる下地層を4μmの膜厚で成長させる。

【0017】下地層成長後、ウェーハを反応容器から取り出し、この下地層の表面に、ストライプ幅10μm、ストライプ間隔(窓部)2μmの SiO_2 よりなる保護膜を形成する。保護膜形成後、ウェーハを再度MOVPEの反応容器内にセットし、温度を1050℃にして、TMG、アンモニアを用い、アンドープGaN層を5μm成長させ、 SiO_2 の表面を覆う。成長後、ウェーハをMOVPE装置からHVPE装置に移送しGa金属と、アンモニア、 HCl 、シランガスを用い、Siを $1 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ ドープしたn型GaN層を200μmの膜厚で成長させる。成長後、サファイア基板側から研磨して、サファイア基板、バッファ層、下地層、保護膜を除去することにより、総膜厚170μmのSiドープGaNからなる窒化物半導体基板1を作製する。SiドープGaNのSi濃度は $5 \times 10^{17} \sim 1 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ の範囲に調整することが望ましい。

【0018】(バッファ層2) 以上のようにして作製した窒化物半導体基板1をMOVPE装置に移送し、アンモニアとTMG、不純物ガスとしてシランガスを用い、AS-GROWN側の窒化物半導体基板面に、1050℃でSiを $1 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ ドープしたGaNよりなるバッファ層2を2μmの膜厚で成長させる。このように窒化物半導体と異なる材料よりなる異種基板上に、100μm以上の膜厚で基板となるような窒化物半導体を成長させ、その後異種基板を除去して窒化物半導体基板を作製した場合、その窒化物半導体基板のAS-GROWN面(異種基板除去側と反対側面)に、まずGaNを10μm以下の膜厚で成長させてバッファ層とすると、次に成長させる窒化物半導体の結晶性が良くなる傾向にある。

【0019】(活性層3) 次に、800℃で、Siを $1 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ ドープしたn型 $\text{In}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{N}$ よりなる障壁層を100Å以下の膜厚で成長させる。続いて750℃で、アンドープ $\text{In}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{N}$ よりなる井戸層を30Å以下の膜厚で成長させる。次に温度を750℃に保持したままTMAを原料ガスに加え、アンドープ $\text{Al}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{N}$ よりなる中間層

10

20

30

40

50

を1000Å成長させる。次に温度を800℃に上昇してSiを $1 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ ドープしたn型In_{0.2}Ga_{0.8}Nよりなる障壁層を1000Å成長させる。

【0020】障壁層成長後、温度を750℃に下げ、続いてアンドープIn_{0.2}Ga_{0.8}Nよりなる井戸層を300Åの膜厚で成長させる、続いて750℃にて、アンドープAl_{0.2}Ga_{0.8}Nよりなる中間層を1000Å成長させ、次に温度を800℃にしてSiドープIn_{0.2}Ga_{0.8}Nよりなる障壁層を1000Å成長させる。

【0021】このようにして障壁+（井戸+中間+障壁）×3とを積層した総膜厚8000Åの多重量子井戸構造（井戸層数3）からなる活性層3を成長させる。

【0022】活性層3では、InGa_{1-x}Nからなる井戸層と、井戸層よりもバンドギャップエネルギーが大きい、若しくは膜厚が厚い障壁層との間に、300Å以下で、障壁層とバンドギャップエネルギーが同一か、それよりも大きいAlGa_{1-x}N、Ga_{1-x}N（Al_{1-x}Ga_xN、 $0 \leq x < 1$ ）からなる中間層を成長させることが望ましい。一般に中間層の分解温度は井戸層よりも高い。従って、その分解温度の高い中間層の上にGa_{1-x}N、InGa_{1-x}N（この場合、In組成比は井戸層よりも小さい）等からなる障壁層を成長させると、障壁層を厚膜で成長させた場合に結晶性が良くなる。また井戸層と障壁層との間にAlを含む窒化物半導体層若しくはGa_{1-x}N層が存在すると、発光開始電圧が低下しやすい傾向にある。従って井戸層+中間層+障壁層を繰り返して積層した多重量子井戸構造の活性層を成長させることにより、長波長の素子が得られて、素子の出力が向上する。

【0023】（p側クラッド層4）続いて、850℃でMgを $1 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ ドープしたp型Al_{0.2}Ga_{0.8}Nよりなるp側クラッド層4を0.1μm成長させる。なお、このp側クラッド層4は省略可能である。

【0024】（p側コンタクト層5）最後に、850℃でMgを $1 \times 10^{20} / \text{cm}^3$ ドープしたp型Ga_{1-x}Nよりなるp側コンタクト層5を500Åの膜厚で成長させる。p側コンタクト層はp型のIn_xAl_{1-x}Ga_{1-y}N（ $0 \leq x, 0 \leq y, x+y \leq 1$ ）で構成することができ、好ましくはMgをドープしたGa_{1-x}N、InGa_{1-x}Nとすれば、p電極6と最も好ましいオーミック接触が得られる。またMg濃度はVfを低下させる上でp側クラッド層4よりも大きくすることが望ましい。

【0025】成長後、ウェーハを反応容器から取り出し、最上層のp側コンタクト層5の表面にオーミック用のNi/Auからなる透光性のp電極6を2000Åの膜厚で形成し、その上にAuからなるボンディング用のpパッド電極7を形成する。一方窒化物半導体基板の裏面のほぼ全面にはTi/Alよりなるn電

極8を形成する。

【0026】電極形成後、矩形形状のチップに分離してLED素子としたところ、20mAにおいて520nmの緑色発光を示し、順方向電圧3.2V、発光出力4.2mWであった。

【0027】一方比較のため、井戸層の組成を同一組成とし、井戸層1層から成る単一量子井戸構造の活性層を成長させたLED素子は、20mAにおける順方向電圧は3.4Vで、発光出力は3.5mWであった。

【0028】また、前述の緑色LED素子とは別に、前述のLED素子を作製する工程においてLED活性層3を成長させる際、井戸層の組成をIn_{0.2}Ga_{0.8}Nとし、井戸層1層のみからなる単一量子井戸構造の青色LEDを作製する。この青色LEDは、20mAにおける順方向電圧は3.4V、発光出力は7mWであった。このように構造が同じである場合、波長が長くなるに従って井戸層の数を増やすと出力が向上する。

【0029】さらにまた、前述の緑色LED素子とは別に、前述の緑色LED素子を作製する工程においてLED活性層3を成長させる工程を次のように行う。つまり、Siを $1 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ ドープしたn型In_{0.2}Ga_{0.8}N障壁層を1000Åの膜厚で成長させ、続いて750℃で、アンドープIn_{0.2}Ga_{0.8}Nよりなる井戸層を300Å成長させる。次に温度を750℃に保持したままTMAを原料ガスに加え、アンドープAl_{0.2}Ga_{0.8}Nよりなる第2の窒化物半導体層を1000Å成長させる。次に温度を800℃に上昇してSiを $1 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ ドープしたn型In_{0.2}Ga_{0.8}Nよりなる障壁層（第3の窒化物半導体層）を1000Å成長させ、障壁+（井戸+第2+障壁）×5とを積層した総膜厚8000Åの多重量子井戸構造（井戸層数5）からなる活性層3を成長させる。このLED素子は650nmの赤色発光を示し、20mAにおいて、順方向電圧3.2V、発光出力1.5mWであった。

【0030】それに対し、同一組成のInGa_{1-x}N井戸層を有する単一量子井戸構造から成る赤色LEDは、順方向電圧3.5Vで発光出力0.5mWであった。

【0031】以上のようにして得られた井戸層1の青色LEDと、井戸層3の緑色LEDと、井戸層5の赤色LEDとを用いてフルカラーLEDディスプレイを作製したところ、従来の単一量子井戸構造の青色LED、緑色LED、赤色LEDを用いたディスプレイに比較して白色輝度で1.2倍以上向上し、消費電力で10%以上の削減ができた。

【0032】[実施例2] 実施例1において、緑色LEDの活性層を成長させる際に次のような工程を行う。つまり、800℃で、Siを $1 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ ドープしたn型Ga_{1-x}Nよりなる障壁層を1000Åの膜厚で成長させ、続いて750℃で、アンドープIn

10

20

30

40

50

、Ga_{0.9}Nよりなる井戸層（第1の窒化物半導体層）を300Åの膜厚で成長させる。次に温度を750℃に保持したまま、アンドープGa_{0.9}Nよりなる第2の窒化物半導体層を100Å成長させる。次に温度を800℃に上昇してSiを $1 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ ドープしたn型Ga_{0.9}Nよりなる障壁層（第3の窒化物半導体層）を100Å成長させる。

【0033】その他は実施例1と同様にして緑色LEDを得たところ、実施例1の緑色LEDとほぼ同等の特性を有する緑色LEDが得られた。

【0034】また、この緑色LEDと、実施例1で得られた青色LEDと、出力5mWのAlInGaP系赤色LED等を用いて、フルカラーLEDディスプレイを作製したところ、実施例1のディスプレイに比較して、少ない赤色LEDの個数で、白色輝度は2倍に向上し、消費電力もさらに少なくなった。

【0035】また、図2は本発明の他の実施例を示す模式断面図である。この図は同一素子内において多色が発光できる窒化物半導体素子であり、基板10の上にn型コンタクト層11が積層され、そのn型コンタクト層11の上に独立した青色発光部分12B、13B、14Bと、緑色発光部分12G、13G、14Gと、赤色発光部分12R、13R、14Rとが形成されている。12はn型クラッド層であり、13はInGa_{0.5}Nを含む活性層、14はp型クラッド層であり、それぞれダブルヘテロ構造を有している。なお15はp電極、16はn電極である。青色発光部分の活性層13BはInGa_{0.5}N井戸層を2層有する多重量子井戸構造から成り、緑色発光部分の活性層13GはInGa_{0.5}N井戸層を3層有する多重量子井戸構造から成り、赤色発光部分の活性層13Rは*

InGa_{0.5}N井戸層を5層有する多重量子井戸構造から成っている。それぞれの井戸層のIn組成は長波長のものほど多く調整する。本発明では同一素子に活性層を複数有する多色発光素子にも適用できる。

【0036】

【発明の効果】本発明では、窒化物半導体発光素子を長波長に設計するに従って、井戸数を多くすることにより、その発光素子の発光出力を高めることができる。即ちInを含む窒化物半導体より成る井戸層を有する活性層を用いたダブルヘテロ構造の窒化物半導体素子では、活性層のInを多くした長波長発光素子を設計する場合、In組成を多くするに従って、その井戸層を多くすると、発光素子の出力を向上させることができる。なお、本明細書では主としてLED素子について説明したが、本発明はLEDだけでなく、レーザ素子、SLD素子等にも適用可能であることはいうまでもない。

【図面の簡単な説明】

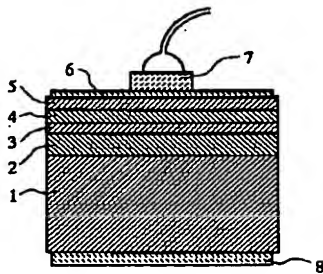
【図1】 本発明の一実施例に係るLED素子の構造を示す模式断面図。

20 【図2】 本発明の他の実施例に係るLED素子の構造を示す模式断面図。

【符号の説明】

- 1・・・窒化物半導体基板
- 2・・・バッファ層
- 3・・・活性層
- 4・・・p側クラッド層
- 5・・・p側コンタクト層
- 6・・・p電極
- 7・・・pパッド電極
- 8・・・n電極

【図1】



【図2】

